高エネルギー加速器科学研究奨励会 第7回特別講演会 平成29年10月12日

IFMIF原型加速器の現状と 核融合用中性子源(A-FNS)計画

量子科学技術研究開発機構 核融合エネルギー研究開発部門 六ヶ所核融合研究所

池田 佳隆



- ・はじめに
- ·加速器型中性子源
- ・IFMIF原型加速器
- ・A-FNS計画



核融合とは

- 太陽(恒星)のエネルギー源
- 軽い原子核が反応、莫大なエネルギーを発生 燃料(重水素・トリチウム)1グラム
 = 石油8トン相当のエネルギー
 重水素 トリチウム (α粒子(ヘリウム) 中性子



(提供:岡野邦彦氏)

なぜ核融合エネルギーか

- 燃料資源はほぼ無尽蔵
- 温室効果ガスの排出がない
- トリチウム(放射性)のプラント内蔵量は限定的。安全性の確保が比較的易しい
- 核セキュリティに優れる(核拡散抵抗性)
- 発生する放射性廃棄物はすべて地表近くに埋設(浅地中埋設)処分可能

→ 実現すれば、社会の低炭素化に貢献可能

核融合を起こす方法

● 燃料を1億℃まで加熱

すべての物質は、「プラズマ」(第4の物質状態)へ







プラズマ



高温プラズマは電磁流体の 乱流構造であり、1億℃の実 現に長い年月が必要であっ た。(JT-60では1996年 世界最高温度5.2億℃達成)

イオンと電子がバラバラの状態

スパコンの性能向上により、 内部構造がシミュレーショ ンできつつある。(左図)







核融合反応のエネルギーは主に中性子が持っている

- プラズマの周りの壁に中性子が衝突し、冷却水を熱水 中性子は、磁場を感じないので壁に衝突
- 予生した中性子を使って燃料のトリチウムを生成
 中性子を増倍した後 (Be+n ⇒ 2He+2n)
 リチウムー中性子反応でトリチウム生成 (⁶Li+n ⇒ T+He)



発電実証までの道筋







加速器型中性子源

- 核融合炉用材料の中性子照射を評価-

加速器を用いた核融合用中性子源



中性子スペクトル



IFMIF:最大中性子発生率:約1.3×10¹⁷個/秒

IFMIFの建設は国際的に未定

大電流加速器の開発





IFMIFは、世界最大の電流ビームを加速する 強力な加速器(125mA×2ライン、40MeV)

IFMIF/EVEDA (プロトタイプ) 原型加速器は、 前段 (9MeV) の大電流ビーム (1ライン) の加速 技術を六ケ所研で日欧で検証する

液体Liターゲットループは、プロトタイプで1300 時間を超える定格流量を実証(H24~H27年度)。

IFMIF/EVEDAプロトタイプ加速器 (125mA、9MeV)





IFMIF原型加速器

- 日欧国際協力で進める大電力加速器開発 -



IFMIF原型加速器の開発



幅広いアプローチ (BA)活動として日欧共同事業でIFMIF加速器のR&Dを実施

- ・実施体制:日本(QST)、欧州(F4E)のもと、各国研究機関が機器調達し 六ヶ所研で組立・試験。(SRF Linac組立・試験ではKEKも参画)
- ・目標:重陽子ビーム、125mA、CW、9MeV加速の技術的な見込みを得る
- ・期間:2007年5月~2020年3月(ただし延長を議論中)



技術課題



◆ 大電流、CW運転 ⇒ 空間電荷によるビーム発散
 ビームダンプ面での均一性

● 重水素ビーム → 高エネルギー重水素の衝突による加速器の損傷・放射化

| 構成機器 | 機能・特徴 | 課題 | |
|--|---|---|--|
| 入射器 | ECRイオン源 D ⁺ を140mA、100keV加速 RFQ入口:0.30πmm.mrad | 大電流 高いD +割合 長時間安定 ビーム収束 | |
| 低エネルギービーム 輸送系(LEBT) | ビームをソレノイドで集束し、RFQへ適切にビー ム導入。 | クリプトンガス等で空間電荷効果を抑制 | |
| 高周波4重極 (RFQ) | ビームを強く集束/加速し、空間電荷力の影響が弱 くなる5MeVまで加速 世界最長のRFQ | 損失パワーの抑制 大電力高周波の注入 | |
| 中エネルギービーム 輸送系(MEBT) | SRF-Linacに正しくビームを入射させるために、 ビームを四重極で横方向に、バンチャーキャビテ ィで縦方向に集束 | SRFと合わせた最適化 | |
| 超伝導加速器(SRF) | 5 MeVから9MeVに加速 (IFMIF加速器では40 MeVまで加速) | 損失は1W / m以下:損失がビームパワ ーの10 ⁻⁶ 以下 | |
| 高エネルギービーム 輸送系(HEBT) [®] | SRF Linacのビーム(1.1MW)をビームダンプで入 力密度を300W / cm ² 以下に拡張 四重極によってビームを必要なサイズおよびビー ムダンプ面プロファイルに拡大 | ビームダンプ上での入力密度の均一化 | |
| ビームダンプ 💧 | 1.1MW CW | 高熱負荷(300W/cm ²) 1 | |

入射器の設計(1)



● 設計方針

- ・CEAのSILHI源(H+、95keV、125mA、ECR源、5枚電極)をベースに設計
- ・空間電荷効果の低減:「引出アパーチャ拡大」「強い加速電界」「加速ギャップ長の短縮」
- ・放電防止のため、電界は100kV / cm以下に制限(動作圧力~10⁻²Pa)

● 設計手法

- ・OPERA2Dコードで磁場マップと電場マップを計算し、 AXCELコードでビーム抽出と粒子軌道を計算
- ・電極開口径ならびに電極の数、形状および電圧を最適化

第1ステップ:引出アパーチャ依存



アパチャーは大きいほうが良いが、 ERCプラズマ生成の限界

⇒ **¢= 12mmを選択**

第2ステップ:電極数依存



電子リペラをプラズマ電極に近づけ、 空間電荷の中性化領域に早く到達

⇒ 少ない電極数が良いが、設計裕 度から4枚電極

入射器の設計(2)



第3ステップ:電極形状の最適化(100 kV/cm以下)



第4ステップ:試作

放電が頻発したため、4枚電極から実績のある5枚電極(SILHI源と同じ)に変更

入射器の設計(3)



第5ステップ:実機製作

SILHI源と同じ5枚電極に変更

ビームシミュレーション(CEA)







低エネルギービーム輸送(LEBT)の設計(1) GQST

● 設計方針

- ・CEAのSILHI源(2個のソレノイドコイル)をベースに設計
- ・空間電荷効果低減のため、「(残留)ガス導入」のイオン化による電子で電荷を補償

● 設計手法

- SolMaxP(CEA製3D PICコード)で衝突及びイオン化 プロセスを考慮して、プラズマ中のMaxwell Equations を解き、空間電荷ポテンシャルを計算
- ・ TraceWin(CEAのマルチ粒子輸送コード)は、 荷電粒子を電気/磁気要素またはフィールドマップで輸送したり、さまざまな調整や最適化を実行。
- ・2つのコードで収束(SolMaxPは非常に時間がかかる)





低エネルギービーム輸送(LEBT)の設計(2) GQST

Space Charge Potential (V)

最終的な2次元(r、z)空間電荷ポテンシャルマップ



LEBTに沿った均一なガス圧での シミュレーション

主な結果

- ・重水素 4×10⁻⁴ と4×10⁻⁵hPaでは、 4×10⁻⁴ でエミッタンスは45%減少。
- ・放電回避の点で、5×10⁻⁵hPaを選択
- ・重水素が1×10⁻⁵hPa、Krが4×10⁻⁵hPaの
 混合ガスの場合、重水素のみの場合に比べ、
 エミッタンスは更に20%減少。
- ・D+による電子捕獲により、ビームは
 2.4%損失
- ・実際のガス圧は、排気系、ガス導入系に 影響される。

RFQ入口のエミッタンス: 0.17 π mm.mrad 要求性能(0.3 π mm.mrad)を満足

高周波四重極線形加速器RFQの設計(1) GQST

● 設計方針

- ・大電流ビームを強く集束/加速し、空間電荷効果の影響が弱くなるエネルギー領域(5MeV)まで 加速する世界最長のRFQ
- ・ビーム損失は、衝突により中性子の生成で放射化を誘発(中性子発生:エネルギーの二乗に比例)
- ・RFQの全長にわたり、高エネルギー部分の損失、最大表面電界および電力消費を可能な限り低減

● 設計手法

- ・RFQ構造: LANL chain of RFQ codes (Crandall & Wangler 1987)
- ・ビームシミュレーションはLANLコードPARMTEQM(Crandall et al.、1987)およびCEAコード Toutatis(Duperrier、2000)
- ・106以上のマクロ粒子計算
- ・RFQは489個のセルから構成
- ・RFQ出口で125mA以上



Shaper:バンチングプロセスを開始、 Gentle Buncher:バンチングプロセスを完了 Accelerator:粒子を5MeVに加速

主な設計パラメータ

| Total length | 9.81 m |
|--|-----------------------|
| Cell number for | 4 / 153 / 147 / 185 / |
| RMS/Shaper/GB/Accelerator /Total | 489 |
| Voltage [kV] MIN / MAX | 79.3 / 132 |
| Max surface field [MV/m] (cell) | 25 [=1.76kp] (489) |
| Min aperture "a" [mm] (cell) | 3.48 (339) |
| Min longitudinal radius [cm] (cell) | 3.03 (158) |
| Ratio Rho/R0 | 0.75 |
| Output energy from Shaper/GB [MeV] | 0.11 / 0.32 |
| R0 initial/final [cm] | 0.548 / 0.710 |

高周波四重極線形加速器RFQの設計(2) GQST

RFQに沿った主要物理パラメータ(LANL chain of RFQ codes)



- ・集束強度Bは、入射時に弱く
 (B₀=4)、高い空間電荷力を補償
 するため漸進的に7まで増加
- Gentle Buncherの終わりでは、 アパーチャの急激な減少により、 高エネルギーに加速されない粒子 を衝突、消滅させる。
- ・逆に、RFQ(E> 3 MeV)の最後の3分の1では、高エネルギーでの損失を避けるために、すべてのパラメータを変更せず

高周波四重極線形加速器RFQの設計(3) GQST

ビームシミュレーション (PARMTEQMコードおよびToutatisコード)



- ・RFQ出口のエミッタンス: 0.20 πmm.mrad
- ・入力粒子の数に対する透過電流率:95.9%
- ・損失は最初の3番目に集中:集束できずに加速 できない低エネルギーの粒子
- ・局所的な損失:12W程度。
- ・高エネルギー部分での損失:6W程度。
- ・入力電流が140mAの場合、出力電流は 133mA
- ・125mAのIFMIF目標値と比較して、依然とし て5%のマージン



入力電流が140mAの場合、出力電流は133mA (125mAのIFMIF目標値に対し、5%のマージン)

中エネルギービーム輸送(MEBT)の設計 GQST

● 設計方針

- ・RFQから5MeVビームを輸送し、SRF-Linacへの最適入射
- ・損失は1W / m以下、すなわちビーム損失は10 -6以下を目指す

● 設計手法

- ・強い空間電荷に起因するbeam blow-upを抑制するため短いセクション
- ・MEBTのビームシミュレーションと最適化は、SRF-Linacと一緒に実行: TraceWinコード
- ・マルチ粒子輸送コードで、106個以上のマクロ粒子で評価
- ・最適化に非常に時間がかかる。

5 MeV 5 MeV 150 150 320 625 kW 625 kW 250.45 100 130 100 130 100 130 100 130 100, 130, 100 250.45 270 175 Scrapers RFQ Buncher Buncher Solehoid Quad Quad Quad Quad Quad Package 0.0 0.5 1.0 1.5 2.d (m) Position Position Current Mean Energy Trans.Profile Losses Losses Bunch Lenath

5つの四重極と2つの集束キャビティから構成

 ビーム形状の最適化(6次元):
 4つの四重極と2つの集束キャビティ
 軌道補正:四重極内の位置補正
 ビーム測定:RFQ出口、SRF入口 及び四重極でのロス

バンチャーの電界等を下げるため、 若干の変更

超伝導RFライナック(SRF-Linac)の設計(1)。 Ogram

● 設計方針

- ・MEBTとSRF-Linacのビームシミュレーションを一度に実行
- ・IFMIFプロトタイプ加速器では5MeVから9 MeV、IFMIF加速器で5MeVから40 MeVまで加速。 シミュレーションでは、40MeVまでを実行
- ・メンテナンスの制約から、損失は1W / m以下に抑制。これはビーム損失が10-6以下

● 設計手法

- ・SRF構造:GenLinWinコード。幾何学的キャビティのβ値、遷移エネルギー、長さあたりの 共振器数の最適化を満たしながら、最小の空洞を有する最短の線形加速器を設計
- ・ビームシミュレーション: TraceWinコード

(m)





マルチパーティクルシミュレーション(TraceWinコード)

- ・40MeVまでのシミュレーションを行い、MEBTを含めた最適化を図る。
- ・損失が10⁻⁶レベルのため、エンベロープ評価は十分ではなく、10⁶個以上のマクロ粒子 (最終的には10⁷個以上)のマルチパーティクルシミュレーション(ハローマッチング)が必要。
- ・エミッタンスマッチングとハローマッチングの最適化は同じでないかもしれない。



高エネルギービーム輸送ライン(HEBT)の設計(1) 🤪 QST

● 設計方針

- ・1.1MWの高パワービームをビームダンプで電力密度を300W/cm²以下に拡張
- ・ビームダンプの熱応力を避けるため、ビーム中心偏差と非対称ビームにも留意
- ・ビーム診断のため、全長2m以上の診断プレート(D-Plate)の実装を可能にする。
- ・ビームダンプ以外での損失は、1W / m未満(ビーム損失10 -6以下)に制限。

● 設計手法

・TraceWinコードで実行



- 全長約9.6m。

- 第1、2、3の四重極: SRF Linacの出 カビームを制御し、診断プレートに沿
 - って最適なビーム輸送条件にする
- 2.5mドリフト:診断プレート用
- 第4、5の四重極:四重極スキャンエ ミッタンス時の焦点合わせ用
- 20°曲げ磁石:ビームダンプから加速 器要素への中性子放射を減少
- 第6、7、8の四重極:ビームダンプ (300W/cm²)のためにビーム拡大

高速弁を入れるため若干の位置変更





HEBTラインは、四重極/双極子および ドリフトのみで構成されているため、 エネルギー分散によってビームが減衰 し、縦方向の集束サイズが増加

> ビームダンプ入口: 最大入力密度は300W/cm² 以下



・製作誤差、設置誤差を仮定して計算 ⇒ 非常に大きな影響(損失増大)







- ・IFMIF(原型)加速器は前例のない加速器
- ・最高強度、最高出力、最高空間電荷効果および最長RFQの同時組合わせ
- ・非常に高い強度と出力での動作を考慮して設計
- ・メガワット級加速器には、10-6以下の小さい損失を管理する必要
- ・このためビームマッチングのような通常の方法では不十分で、 ビームマウンスのエッジを処理するためにハローマッチングが必要
- ・シミュレーション的には、要求性能を満足する設計が可能
- ・しかし現在のシミュレーションで、10-6で予測するのは困難(機器精度等)



実際の実験において、ビーム診断を行いながら最適化が必要



IFMIF原型加速器の現状



- ・入射器、LEBT、RFQ、MEBTが搬入・据付が完了
- ・RFQの大電力調整試験開始(2017年7月):フェーズB
- ・装置完成は2019年末、9MeVビーム加速開始を2020年に予定
- ・現行BA計画は2020年3月まで。その後、BA協定を延長し、信頼性確認を予定



入射系(1)



原型加速器の最初のマイルストーンであるD+で、加速エネルギー100keV、イオン電流140mA、CW、 エミッタンス<0.3π mm mrad を個別に達成(2015年)。



Injection

4GA

28

入射系(2)



クリプトンガスによるエミッタンスの改善

- ・LEBTだけのクリプトンガス導入では、エミッタンス改善が10%程度
- ・ビーム診断系にクリプトンガス導入により、エミッタンス改善 (ただしビーム電流も若干減少)



エミッタンスの改善 0.32πmm mrad ⇒ 0.22 πmm mrad (約30%減少)







- CW運転で低エミッタンス調整試験後、入射器のリペラー電極などに損傷が観測 ⇒ 電子のバックストリームの可能性
- ⇒ 接地電極及び電子リペラ電極のアパーチャーが設計通りでないことが判明
- ⇒ 実測のデータを基に入射器の電界計算を行ったところ、リペラ電界が 不十分となることが判明
- ⇒ 欧州側 (CEA)で、電極の再製作を行い、この10月から確認試験を開始





RFQ (製作及び据付状況)



設計/製作:イタリア INFNレニャーロ研究所

特徴:世界最長のRFQ(9.8 m) 大電力(175MHz、1.6MW/CW)共振器 8系統の高周波導入(200 k W/系統)

> 加工精度(10ミクロンレベル)&ロー付け アライメント(100ミクロン以下) 冷却水による共振周波数調整







RFQ (チューニング)



チューニング方法

・約100個の模擬チューナーで挿入距離の最適化 ・それに基づく実機チューナーの製作、組込み







高周波分布測定

要求される共鳴周波数および電界分布が得られたことを確認。

- ・共鳴周波数: 174.995 MHz
- Q = 11500 > 9000
- ・ 不要モードの存在比 < 2%







大電流加速器として大電力CW高周波システムが必要 RFQ用:220kW×8系統(最終段:4極管) SRF用:105kW×8系統(最終段:4極管)

MEBT用:16kW×2系統

これらの複数高周波システムの電力/位相制御が必要 ⇒ 高度な制御システム

2017年7月、RFQ用高周波システムの据付、 単体発振試験(200kW、CW、1.5時間)を終了









- ・8系統の大電力高周波の電力・位相を制御してRFQに入射。同期にはWhiteRabbit採用。
- ・RFコミッショニング時には、共振周波数に合わせて周波数変調
- ・最終的には共振周波数に合うようにRFQの温度制御





入射器、RFQ、高周波伝送ライン、MEBT、ビーム診断系、低電力ビームダンプをビームラインに設置し、RFQの高周波試験の準備が完了。



RFQの初期調整試験結果



- ・高周波システムの確認(2017年7月~)
 1系統毎:低電力(数kW)、短パルス(数10µs)、低デューティ(数Hz)
 ⇒約70%反射、約20%が他系統、約10%がRFQに蓄積
 高周波応答は、設計通り
 8系統の同時入射
 ⇒ 電力、位相のフィードバック制御を確認。
- ・大電力コンディショニング:2017年10月から開始予定
- ・ビーム加速試験:2018年1月から開始予定

1系統入射

8系統入射







設計/製作:フランス CEAサクレー研究所

特徴:半波長型超伝導空洞8基からなる 材料はニオブ 空洞はプロトタイプで性能確認後、実機製作 超伝導ソレノイドコイルはCIEMATが担当

> 日本の高圧ガス保安法冷凍則による事前評価(取得済) 全体の組立ては、六ヶ所研のクリーンルームで実施予定



超伝導加速器の内部構造







超伝導加速器の製作状況



@CEA/Irfu

- ・プロトタイプで大電力試験を実施、4.5MV/mの加速電界を確認(2017年4月)
- ・HWR実機空洞は順次製作中。8式全部製作が完了するのは2018年2月末の予定。
- ・クライオスタットや熱シールドなどの内部コンポーネントはほぼ調達完了。
- ・スペインCIEMAT担当のソレノイドコイルと電流リードが遅れている(2018年6月予定)
- ・2018年10月から六ヶ所核融合研究所に設置するクリーンルームにおいて、組立を開始予定。





RFカプラ

プロトタイプで超伝導空洞の大電力実証試験で以下の確認

最大電界:5.3MV/m 共振周波数可変域:175.0677~175.0137 MHz (要求値 50kHz) Q値:1.2×10⁹ (要求値 5×10⁸) クライオプラントの据付調整



設計/機器製作:フランス CEAサクレー研究所 機器製作・据付:エア・リキード社 特徴:冷凍能力(132kW) 日本の冷凍保安規則で許可 欧州分担機器として調達

2017年2月に据付完了。 2017年4月に性能確認試験で冷却性能を確認。 2017年9月、所有権をEUから日本に移転 2017年11月、完成検査予定







今後の進め方







A-FNS計画

(Advanced Fusion Neutron Source)

- 核融合用中性子源の国内計画 -

我が国の核融合開発戦略(アクションプラン)

- ●我が国の核融合開発戦略を定める「核融合原型炉研究開発の推進に向けて(原案)」 によるアクションプランでは、ITERで50万kW出力の実証を行う2035年頃までに 原型炉建設判断に必要な核融合炉材料の中性子照射試験を行う必要がある。
- ●このため2030年頃までに核融合中性子源の設計・建設を完了が求められている。

第11回核融合科学技術委員会(平成29年7月14日)

配布資料(抜粋)



核融合中性子源 (A-FNS)計画

ビーム出力5 MV

(長さ150m x 幅110m)

- ・国内計画を軸としアクションプランに 基づき、核融合中性子源を整備
- ・BA活動の研究資産を最大有効利用

IFMIF原型加速器

照射モジュール試験

Liループ試験

核融合材料照射のほかに、 医療等への国内産業利用も目指す



最大中性子発生率:約6.8×10¹⁶個/秒 (目標年間稼働率 >33%)

ターゲットバックプレート平均

| 平均中性子束 | 6.1×10 ¹⁴ n/cm ² /秒 |
|---------|---|
| 核発熱 | 1.74 W/g (Fe) |
| 水素生成率 | 1.4×10 ³ appm/fpy |
| ヘリウム生成率 | 3.1×10 ² appm/fpy |
| 弾き出し | 24.7 dpa/fpy |
| He/dpa | 12.6 |



(IFMIFは、2ビームライン)

多用途な中性子源を目指して



核融合炉材料開発だけでなく、連続運転の強力中性子源を広く提供

- ・中性子利用者に連続定格の中性子束を供給
- ・中性子利用者は遮蔽壁外のビームライン出口で中性子を利用。
- ・要望の中性子性能を得るため、ビームライン出口より下流の中性子伝送路を設計。



A-FNSの課題



世界最先端の中性子源

| 施設名 | ビーム出力 | 繰り返し | 高速中性子数(個/日) | 完成年 |
|---------------|--------|----------|----------------------------|----------|
| SNS(米) | 1.4 MW | 60 Hz | 2.6×10 ²⁰ | 2006 |
| ESS(欧) | 5 MW | 10/50 Hz | (1.1-5.4)×10 ²¹ | 2023(予定) |
| J-PARC (日) | 1 MW | 25 Hz | 4.3×10 ²⁰ | 2008 |
| A-FNS (日) | 5 MW | 連続 | 5.2×10 ²¹ | 2030頃 |



ターゲット系の開発

- ・現行BA活動では、大型液体Liターゲットループ試験で毎秒15 mの高速リチウム流を実証(2014年)。 ・大型液体Liターゲットループは2017年解体。
- ・残った課題としては、長期間での損耗・腐食、純度管理、遠隔保守等があり、今後、欧州(BA活動 延長)及び国内の大学、産業界と連携して開発を行う。

大洗研での大型液体Liターゲットループ試験装置



実証 安定性:25±1mm 流速:15m/秒 積算運転時間:1300時間 (いずれも目標値を満足)





-50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 y [mm]

残った主な課題

| 項目 | 開発課題 | |
|---------------------|---------------|--|
| | ノズル構造・設計 | |
| ターゲット | Li流の安定化 | |
| アセンブリー | 背面壁健全性 | |
| | 遠隔保守 | |
| ı:ıı − * | 純度管理 | |
| LIV-ノ | キャビテーション防止 | |
| 窒素ゲッタ材 | 液体Li中の窒素制御 | |
| 水素ゲッタ材 | 液体Li中の水素制御 | |
| トリチウム除去 | ゲッター材によるT回収 | |
| 个船 | 材料全般(低放射化フェライ | |
| 土加又 | ト鋼と液体Liとの共存性) | |



現在、国内の大学、産業界との共同研究及 びBA延長による欧州と国際協力を議論中



A-FNSは大規模な研究施設でありプラント設計の強化が必要



照射系



High >20 dpa/y , 0.5 liters Medium >1 dpa/y , 6 liters Low <1 dpa/y , 8 liters

BA活動では、欧州が プロトタイプを試作

設計・開発課題



大学・産業界と連携し設計活動を加速 47

中性子源の他分野への展開

・核融合炉の材料・機器試験だけでなく、基礎研究・産業医療・エネルギー応用まで
 を網羅する、汎用性の高い照射場を提供、新たな中性子研究・産業への展開を図る。



六ケ所核融合研究所でのA-FNSサイト案 ③QST



A-FNS計画のスケジュール案

- ・我が国の核融合政策では、ITERで50万kW出力が実証される2035年頃に原型炉建設判断を行う。
- ・中性子照射データは、それまでに必要 ⇒ 2025年頃にはA-FNS建設開始が必要
- ・次期BA活動を使って、加速器、ターゲット系等のR&Dを実施予定。









IFMIF原型加速器

- ・2016年、入射器はマイルストーンを個別に達成(D⁺、100keV、140mA、CW、 エミッタンス< 0.3 pmm mrad)。電極を作り直した入射器で、再試験の予定。
- ・2017年7月、RFQ、MEBT、D-Plate、高周波源等の据付完了。RFQの大電力試験 (高周波エージング)を開始。
- ・2018年1月、RFQのビーム試験(最大5MeV)を開始予定。
- ・2018年8月、全ての機器を据付し、SRFのコミッショニング開始予定。
- ・2020年1月、9MeV加速を目指す。
- ・2020年4月、BA計画を延長し長時間/信頼性確認試験を実施予定(日欧で協議中)。
- ⇒ 設計と試験結果の比較を行い、A-FNS加速器系の設計・製作に反映させる

A-FNS計画

- ・BA計画の研究資産を最大限に活用した、国内用の強力中性子源
- ・中性子の多用途利用を考慮して設計。
- ・2025年頃に詳細設計を完了し、建設開始を目指す。

⇒ プラント、他分展開を含む全体設計を加速し、国内の理解/支援を得る